فولاذ مزدوج غير قابل للصدأ

الملخص

يتعلق الاختراع الحالي بفولاذ مزدوج غير قابل للصدأ يحتوي على المواد التالية بالنسب الموضحة بالوزن:

%0.05 ≥ C

%25 ≥ Cr ≥ %21

%2.95 ≥ N ≥ %1

%0.28 ≥ N ≥ %0.16

%2 ≥ Mn

%0.50 ≥ W/2 + Mo

%0.45 ≥ Mo

%0.15 ≥ W

%1.4 ≥ Si

%0.05 ≥ Al

%0.50 ≥ Cu ≥ %0.11

%0.010 ≥ S

%0.040 ≥ P

%0.5 ≥ Co

%0.1 ≥ REM

%0.5 ≥ V

%0.1 ≥ Ti

%0.3 ≥ Nb

%0.1 ≥ Mg

تكون النسبة المتبقية عبارة عن حديد وجسيمات شوائب ناتجة عن عملية التصنيع، وتكون البنية المجهرية مكونة من أوستنيت وما يتراوح من 35% إلى 65% بالحجم من الفريت. تحتوي التركيبة كذلك على الآتي:

40 ≤ IF ≤ 70 مع IF = 6 × (Cr% + 1.32 × Mo% + 1.27 × Si%) − 10 × (Ni% + 24 × C% + 16.15 × N% + 0.5 × Cu% + 0.4 × Mn%) − 6.17 و

IRCL ≥ 30.5 مع IRCL = Cr% + 3.3 × Mo% + 16 × N% + 2.6 × Ni% − 0.7 × Mn%؛

وكذلك طريقة لتصنيع ألواح فولاذية وشرائح ومِلَفات وقضبان ومقاطع تركيبية وعناصر مشكلة بالطرق والصب باستخدام هذا الفولاذ.

فولاذ مزدوج غير قابل للصدأ

الوصف الكامل

المجال التقني:

يتعلق الاختراع الحالي بفولاذ مزدوج غير قابل للصدأ، ويتعلق على وجه التحديد بطريقة تصنيع يتم تطبيقها على عناصر تركيبية مصممة للاستخدام في منشآت لإنتاج المواد (الكيماويات والبتروكيماويات والأوراق والمعدات المستخدمة بعيدًا عن الشاطئ) أو لإنتاج الطاقة، دون أي قيود، وكذلك إنتاج الألواح الفولاذية أو الشرائح أو القضبان أو الأسلاك أو المقاطع التركيبية الملحومة من هذا الفولاذ.

الخلفية التقنية:

يمكن استخدام هذا الفولاذ بصورة عامة كفولاذ لا يصدأ من نوع 304L في العديد من التطبيقات، كالصناعات السابق ذكرها أو الصناعات الغذائية، والتي تتضمن أجزاء مصنعة من أسلاك مُشكلة (شبكات ملحومة، وما إلى ذلك) ومقاطع (شبكات وما إلى ذلك) ومحاور. يمكن كذلك تصنيع أجزاء مشكلة بالطرق والصب.

لهذا الغرض، يستخدم الفولاذ غير القابل للصدأ من فئتي 304 و304L حيث تكون بنيته المجهرية الملدَّنة عبارة عن أوستنيت بصورة أساسية تم تقسيتها على البارد، ولكن قد تختلف هاتان الفئتان في نسبة معدل المارتنزيت. يتم استخدام إضافات قوية للغاية من النيكل في هاتين الفئتين من الفولاذ، وبالتالي يكون سعرهما مرتفع للغاية. بالإضافة إلى ذلك، قد تثير هاتان الفئتان مشكلة من المنظور الفني في بعض التطبيقات لما لها من خواص مقاومة شد منخفضة عند تلدينها، تتضمن حد المرونة، ومقاومة تآكل منخفضة نوعًا ما تحت الإجهاد.

يتم كذلك الكشف عن فئات فولاذ من الأوستنيت والفريت (المزدوج)، وتتكون بصورة رئيسية من خليط من الفريت والأوستنيت، مثل فئات الفولاذ 1.4362 و1.4655 و1.4477 و1.4462 و1.4507 و1.4410 و1.4501 و1.4424 من Euronorm EP10088، وتحتوي كل فئة على ما يزيد عن 3.5% من النيكل. ويفضل أن تكون هذه الفئات من الفولاذ مقاومة للتآكل تحت الإجهاد على وجه التحديد.

هناك أيضًا فئات أخرى معروفة من الفولاذ غير القابل للصدأ، من الفريت أو من الفريت والمارتنزيت، تكون بنيتها المجهرية مكونة من مركبين لنطاق محدد من الظروف الحرارية، هما الفريت والمارتنزيت بنسبة 50/50 على نحو مفضل، كما هو الحال في فئة 1.4017 (معيار EN10088).

– لهذه الفئات، التي تقل نسبة الكروم بها بصورة عامة عن 20%، خواص شد ميكانيكية عالية، ولكن ليس لها مقاومة تآكل مرضية.

بالإضافة إلى ذلك، يتم البحث عن طريقة تصنيع مبسطة لإنتاج الألواح الفولاذية أو الشرائح أو القضبان أو الأسلاك أو المقاطع التركيبية الملحومة.

الكشف عن الاختراع

يصمم الاختراع الحالي بحيث يتغلب على المشكلات المتعلقة بالفولاذ وطرق التصنيع باستخدام تقنيات سابقة، بتوفير فولاذ غير قابل للصدأ بخواص ميكانيكية جيدة، وحد مرونة عند الشد على وجه الخصوص يزيد عن 400 حتى 450 ميجا باسكال في حالة مُلدِّنة أو في محلول، ومقاومة تآكل مرتفعة تزيد على وجه الخصوص عن أو تساوي قيمتها لفئة 304L، وثبات بنية مجهرية جيد ومرونة جيدة للمساحات الملحومة، دون أية مكونات إضافة مرتفعة التكلفة، وطريقة تصنيع الألواح الفولاذية أو الشرائح أو القضبان أو الأسلاك أو المقاطع التركيبية الملحومة المحتوية على هذا الفولاذ بعملية مبسطة.

هكذا، يتم في جانب أول من الاختراع توفير فولاذ مزدوج غير قابل للصدأ، حيث تتضمن التركيبة النسب التالية بالوزن:

%0.05 ≤ C

%25 ≥ Cr ≥ %21

%2.95 ≥ N ≥ %1

%0.28 ≥ N ≥ %0.16

%2 ≥ Mn

%0.50 ≥ W/2 + Mo

%0.45 ≥ Mo

%0.15 ≥ W

$Si \leq 1.4\%$

$Al \leq 0.05\%$

$0.11 \leq Cu \leq 0.50\%$

$S \leq 0.010\%$

$P \leq 0.040\%$

$Co \leq 0.5\%$

$REM \leq 0.1\%$

$V \leq 0.5\%$

$Ti \leq 0.1\%$

$Nb \leq 0.3\%$

$Mg \leq 0.1\%$

تكون النسبة المتبقية عبارة عن حديد وجسيمات شوائب ناتجة عن عملية التصنيع، وتتكون البنية المجهرية من أوستنيت وما يتراوح من 35% إلى 65% بالحجم من الفريت. تحتوي التركيبة كذلك على الآتي:

$40 \leq IF \leq 70$، ويفضل $40 \leq IF \leq 60$ مع

$$IF = 6 \times (\%Cr + 1.32 \times \%Mo + 1.27 \times \%Si) - 10 \times (\%Ni + 24 \times \%C + 16.15 \times \%N + 0.5 \times \%Cu + 0.4 \times \%Mn) - 6.17$$

و

$IRCL \geq 30.5$، ويفضل أن تكون ≥ 32 مع

$$IRCL = \%Cr + 3.3 \times \%Mo + 16 \times \%N + 2.6 \times \%Ni - 0.7 \times \%Mn$$

وفقًا للاختراع، قد يتضمن الفولاذ الخواص الاختيارية التالية جميعها أو أي منها:

- تتراوح نسبة الفريت من 35% إلى 55% بالحجم
- يتراوح معدل الكروم من 22% إلى 24% بالوزن
- يقل معدل المنجنيز عن 1.5% بالوزن
- يقل معدل الكالسيوم عن 0.03% بالوزن
- يزيد معدل الموليبدين عن 0.1% بالوزن

تُعد طريقة تصنيع الألواح الفولاذية أو الشرائح أو الملفات الملفوفة على الساخن في الفولاذ وفقًا للاختراع جزءًا من الغرض الثاني للاختراع، حيث:

تم تصنيع صبة أو لوح من فولاذ له تركيبة متوافقة مع الاختراع؛

تم لف هذه الصبة أو اللوح على الساخن في درجة حرارة تتراوح من 1150° م إلى 1280° م للحصول على لوح فولاذي أو شريحة أو ملف.

في أحد النماذج، تم لف هذه الصبة أو اللوح على الساخن في درجة حرارة تتراوح من 1150° م إلى 1280° م للحصول على لوح فولاذي من نوع كوارتو، ثم معالجة اللوح بالحرارة عندما يتراوح من 900° م إلى 1100° م، ثم تبريد اللوح المذكور بعملية إخماد بالهواء.

يتم الكشف عن الغرض الثالث للاختراع بطريقة تصنيع قضبان أو أسلاك ملفوفة على الساخن في هذا الفولاذ وفقًا للاختراع، حيث:

- يتم الكشف عن صبة أو كتلة فولاذية مصبوبة في الاختراع الحالي،

- يتم لف هذه الصبة أو الكتلة على الساخن عند درجة حرارة تتراوح من 1150° م إلى 1280° م للحصول على قضيب مبرد بالهواء أو حزمة مبردة بالماء،

ثم يتم إجراء الخطوتين التاليتين اختياريًا:

- إجراء معالجة بالحرارة عند درجة حرارة تتراوح من 900° م إلى 1100° م، و
- تبريد القضيب أو الحزمة المذكورة بعد ذلك بعملية إخماد.

في نموذج آخر، يمكن بعد عملية التبريد سحب القضيب المذكور على البارد أو سحب السلك المذكور.

يتعلق الاختراع كذلك بطريقة لتصنيع مقاطع تركيبية فولاذية ملحومة، يتم فيها إجراء تشكيل على البارد لقضيب ملفوف على الساخن، نتيجة للاختراع، وطريقة لتصنيع جزء فولاذي مُشكل بالطرق، حيث يتم تقطيع لوح ملفوف على الساخن، يتم تصنيعه وفقًا للاختراع، إلى كتل معدنية يتم تشكيلها بالطرق عند درجة حرارة تتراوح من 1100° م إلى 1280° م.

يتعلق الاختراع كذلك بمنتجات مختلفة يمكن الحصول عليها باستخدام الطرق وفقًا للاختراع، وتطبيقاتها مثل:

ألواح فولاذية مُشكلة على الساخن، أي من نوع كوارتو، بسمك يتراوح من 5 إلى 100 مم، وشرائح وملفات يمكن استخدامها في تصنيع مقاطع تركيبية للمادة أو منشآت إنتاج الطاقة، خاصة منشآت إنتاج الطاقة المادة والطاقة العاملة عند درجة حرارة تتراوح من -100° م و300° م، ويفضل أن تتراوح من -50° م و300° م؛

شرائح فولاذية ملفوفة على البارد يمكن الحصول عليها بعد إجراء لف على البارد للملفات الملفوفة على الساخن؛

قضبان ملفوفة على الساخن بقطر يتراوح من 18 مم إلى 250 مم، وقضبان مُشكلة على البارد بقطر يتراوح من 4 مم إلى 60 مم، مما يسمح باستخدام هذه المنتجات في تصنيع أجزاء ميكانيكية، كمضخات ومحور صمام ومحور محرك وتجميعات إقران تعمل في بيئات عدوانية،

أسلاك ملفوفة على الساخن بقطر يتراوح من 4 إلى 30 مم، وأسلاك مسحوبة مسبقًا بقطر يتراوح من 0.010 مم إلى 20 مم، مما يسمح باستخدام هذه المنتجات في تصنيع تجميعات مُشكلة على البارد أو تصنيع الأطعمة أو استخراج النفط والمواد المعدنية أو تصنيع الألياف والشبكات المنسوجة المستخدمة في نظم ترشيح المواد الكيميائية أو المواد المعدنية أو المنتجات الغذائية.

مقاطع تركيبية ملحومة،

عناصر مشكلة بالطرق يمكن استخدامها في تصنيع شفرات أو وصلات،

منتجات مصبوبة يمكن الحصول عليها بطريقة صب الفولاذ وفقًا للاختراع.

يتم الكشف عن سمات وفوائد إضافية يتناولها الاختراع في الوصف التالي لأغراض تمثيلية فقط.

يتضمن الفولاذ المزدوج غير القابل للصدأ وفقًا للاختراع المعدلات الموضحة كما يلي.

يقل معدل كربون الفئة عن أو يساوي 0.05%، ويفضل أن يقل عن 0.03% بالوزن. في واقع الأمر، يستتبع المعدل المرتفع للغاية للكربون في هذه المادة وجود مقاومة تآكل، خاصة بزيادة مخاطرة ترسب كربيد الكروم في المناطق الملحومة المتأثرة بالحرارة.

يتراوح معدل كروم الفئة من 21% إلى 25% بالوزن، ويفضل أن يتراوح من 22% إلى 24% بالوزن للحصول على مقاومة تآكل جيدة تساوي تلك التي يتم الحصول عليها في الفئتين 304 أو 304L على الأقل.

يتراوح معدل فئة النيكل من 1% إلى 2.95% بالوزن، ويفضل أن يقل عن أو يساوي 2.7، حتى 2.5% بالوزن. يُضاف هذا العامل المكوِّن للأوستنيت للحصول على خواص مقاومة جيدة لتكوُّن الشقوق. عند زيادة معدلات العامل عن 1%، أو 1.2% بالوزن على نحو مفضل، فإن فرص منع التآكل الأولي المتسبب في تكوُّن النُقر تكون جيدة. ولكن، يتجاوز معدله عادة 2.95% بالوزن، ويلاحظ تدهور المقاومة بزيادة التآكل المؤدي إلى تكون نُقر. كما أنه يسمح بالجمع بين المرونة وقابلية المطل بشكل جيد. يحظى تحويل منحنى انتقال المرونة إلى درجات حرارة أقل بالاهتمام، وهو أمر مفيد للغاية في تصنيع ألواح فولاذية سميكة من نوع كواترو تشكل فيها خواص المرونة أهمية.

يكون معدل النيكل محدودًا في الفولاذ بالنسبة التي ثبت أنها مناسبة وفقًا للاختراع. ولكن، للحصول على معدل أوستنيت مناسب بعد المعالجة بالحرارة عندما يتراوح من 900ْ م و1100ْ م تمت إضافة عوامل أخرى مكونة للأوستنيت بكميات كبيرة على غير المعتاد وللحد من معدلات العوامل المكونة للفريت.

يتراوح معدل نيتروجين الفئة من 0.16% إلى 0.28%، مما يشير نمطيًا إلى ضرورة إضافة النيتروجين إلى الفولاذ في أثناء عملية تصنيع الفولاذ. يسمح هذا العامل المكوِّن للأوستنيت أولاً بالحصول على فولاذ مزدوج غير قابل للصدأ يحتوي على أوستنيت ثنائي الطور، ثم بنية فريت، يحتوي على نسبة من الأوستنيت مناسبة للحصول على مقاومة تآكل جيدة تحت الإجهاد، وللحصول على خواص ميكانيكية عالية للمعدن. كما يسمح كذلك بثبات جيد للبنية المجهرية في المساحة المتأثرة بالحرارة من المساحات الملحومة. يكون أقصى معدل للعامل محددًا، مما يؤدي إلى ظهور بعض المشكلات المتعلقة بالذوبان بعد 0.28%، كظهور ثقوب فقاعية خلال عملية تجميد الأشكال المصبوبة أو الصفائح أو الكتل الفولاذية أو الأجزاء الملحومة أو المشكلة بالصب.

يتم الاحتفاظ بمعدل الماغنسيوم، وهو عامل مُكوِّن للأوستنيت عند درجات حرارة أقل من 1150°م بحيث يقل عن 2% بالوزن، ويفضل أن يقل عن 1.5% بالوزن نتيجة لتأثيراته الجانبية على جوانب متعددة. قد يثير الماغنسيوم مشكلات في أثناء عملية تصنيع الفولاذ وعملية تنقية الفئة نظرًا لأنه يتسبب في تآكل بعض السبائك المقاومة للصهر المستخدمة في المغارف مما يتطلب استبدالاً متكررًا لهذه المكونات مرتفعة الثمن مما يتسبب في اعتراض العملية لأكثر من مرة. لا يكون من المرغوب إضافة خليط من الفريت والمنجنيز، مستخدم بصورة عامة لإنشاء الفئة، يحتوي على معدلات كبيرة أخرى من الفوسفور والسيلينيوم وتصعب إزالته في أثناء عملية تنقية الفئة. بالإضافة إلى ذلك، يتسبب المنجنيز في حدوث اضطرابات في عملية التنقية بالحد من إمكانية نزع الكربون. كما أنه يثير مشكلة أكبر لاحقة في الطريقة، حيث يؤدي إلى تدهور مقاومة تآكل الفئة نتيجة تكوُّن كبريتيدات الماغنسيوم (MnS) والشوائب الدخيلة المؤكسدة. تمت إضافة هذا العامل بصورة تقليدية إلى الفئات لإثراء محتوى النيتروجين فيما بعد، وذلك لزيادة قابلية ذوبان هذا العامل في الفئة. لا يمكن الوصول إلى هذا المستوى من النيتروجين في الفولاذ في غياب معدل مناسب من المنجنيز. لاحظ المخترعون الحاليّون إمكانية الحد من إضافة المنجنيز إلى الفولاذ وفقًا للاختراع مع إضافة النيتروجين بنسبة كافية للحصول على النتيجة المطلوبة عند إجراء توازن في خليط الفريت – الأوستنيت للمعدن القاعدي وتثبيت المساحات المتأثرة بالحرارة من المساحات الملحومة.

يتم الاحتفاظ بالعامل المكوِّن للفريت، وهو الموليبدين، بمعدل يقل عن 0.45% بالوزن، وكذلك يتم الاحتفاظ بالتنجستين بمعدل يقل عن 0.15% بالوزن. بالإضافة إلى ذلك، تبلغ معدلات هذين العاملين نسبة تسمح بإضافة ما يقل عن 0.50% بالوزن من Mo+W/2، ويفضل إضافة ما يقل عن 0.4% بالوزن منه، ومن الأفضل إضافة ما يقل عن 0.3% بالوزن منه. في واقع

الأمر، لاحظ المخترعون الحاليّون أنه عند الاحتفاظ بهذين العاملين، وإضافاتهما، في القيم المحددة لم يُلاحظ ترسب مركبات الإضعاف السبيكية، مما يُسهل على نحو ملحوظ طريقة تصنيع الألواح الفولاذية أو الشرائح فيسمح بتبريدها بالهواء بعد معالجتها بالحرارة أو بعد عملية تسخين. بالإضافة إلى ذلك، لاحظ المخترعون أن قدرة الفئة على اللحام تحسنت عند ضبط هذه العوامل وفقًا للحدود المذكورة. لذلك يفضل الاحتفاظ بالموليبدين في أدنى معدل له، 0.1%، لزيادة قابلية الفئة للتشكيل بالطرق في أثناء المعالجة بالحرارة. بالإضافة إلى ذلك، يتطلب الحصول على فئة تحتوي على ما يقل عن 1% من الموليبدين الحد من استخدام ألواح حديد إعادة التدوير لهذه الفئة، مما يؤدي إلى صعوبات في المعالجة، خاصة بضرورة استخدام حمولة من سبائك الفريت النقية بنسبة 100%.

قد يوجد العامل المكوِّن للأوستنيت، النحاس، بنسبة تتراوح من 0.11% إلى 0.50% بالوزن، ويفضل أن يتراوح من 0.15% إلى 0.40% بالوزن. يؤدي هذا العامل إلى تحسين مقاومة التآكل في وسط الاختزال المعتمد على الحمض. ولكن، يتم استخدامه بمعدل 0.50% بالوزن لتجنب تكوُّن أطوار إبسيلون تمامًا التي تتسبب في تقسية طور الفريت وإضعاف السبيكة المزدوجة.

يفضل أن يقتصر معدل الأكسجين على 0.010% بالوزن لزيادة قابليته للتشكيل بالطرق.

يُعد البورون مركبًا اختياريًا يمكن إضافته إلى الفئة وفقًا للاختراع بمعدل يتراوح من 0.0005% إلى 0.01% بالوزن، ويفضل أن يتراوح من 0.0005% إلى 0.005%، والأفضل أن يتراوح من 0.0005% إلى 0.003% بالوزن لزيادة تحوله المعتمد على الحرارة. في نموذج آخر، يفضل تقليل معدل الثقوب إلى ما يقل عن 0.0005% بالوزن للحد من مخاطرة التشقق بفعل الإجهاد خلال اللحام وعمليات الصب المستمرة.

يقل معدل السيليكون، العامل المكوّن للفريت، عن 1.4% بالوزن. قد يوجد العامل المكوّن لفريت الألومينوم بنسبة تقل عن 0.05% بالوزن، ويفضل أن تتراوح من 0.005% إلى 0.040% بالوزن للحصول على شوائب ألومينات كالسيوم دخيلة عند درجة انصهار منخفضة. يكون أقصى معدل للألومنيوم محدودًا كذلك لتجنب التكوُّن الزائد لنيتريدات الألومنيوم. يعمل هذان المركبان، السيليكون والألومنيوم، على إتاحة اختزال جيد عند التغطيس خلال المعالجة.

يقل معدل الكوبلت، عامل مُكوّن للأوستنيت، عن 0.5% بالوزن، ويفضل أن يقل عن 0.3% بالوزن. يكون هذا المركب متبقيًا عن المواد الخام. يتمثل تأثير هذا العامل في معالجة المشكلات التي تحدث بعد التعريض للإشعاع في المنشآت النووية.

يمكن إضافة اللانثانيدات (محددة بواسطة REM) إلى التركيبة بمعدل يبلغ 0.1% بالوزن، ويفضل أن يقل عن 0.06% بالوزن. من هذه المجموعة، يفضل السيريوم واللانثانيوم على وجه الخصوص. يتم استخدام هذه العناصر بمعدلات محدودة لأنها قد تُكوّن جسيمات سبيكية غير مرغوبة.

يمكن إضافة الفاناديوم، عامل مُكوّن للفريت، إلى الفئة بمعدل يبلغ 0.5% بالوزن، ويفضل أن يقل عن 0.2% بالوزن لتحسين مقاومة الفولاذ للتآكل المتسبب في تكوُّن شقوق.

يمكن إضافة النيبوبيوم ، عامل مُكوّن للفريت، إلى الفئة بمعدل يبلغ 0.3% بالوزن، ويفضل أن يقل عن 0.050% بالوزن. يسمح هذا العامل بتحسين الشد للفئة بتكوين نيتريدات نيوبيوم رقيقة. تكون نسبة النيوبيوم محدودة للسيطرة على تكوُّن نيتريدات نيوبيوم غليظة.

يمكن إضافة التيتانيوم، عامل مُكوّن للفريت، إلى الفئة بمعدل يبلغ 0.1% بالوزن، ويفضل أن يقل عن 0.02% بالوزن للحد من تكوُّن نيتريدات التيتانيوم، خاصة في الفولاذ المذاب.

وفقًا للاختراع، يمكن إضافة الكالسيوم إلى الفئة للحصول على معدل منه يقل عن 0.03% بالوزن، ويفضل أن يزيد عن 0.0002%، وأن يزيد عن 0.0005% بالوزن للسيطرة على طبيعة شوائب الأكسيد الدخيلة ولتحسين قابلية العمل. تكون نسبة هذا العنصر محدودة، حيث إنه قد يُكوِّن عند تلامسه مع الكبريت بعض كبريتيدات الكالسيوم التي تتسبب في تدهور خواص مقاومة التآكل. في نموذج آخر مفضل، يقل معدل الكالسيوم عن 0.0005% بالوزن، ويفضل أن يقل عن 0.0002%.

يقل معدل الكبريت عن 0.010% بالوزن، ويفضل أن يقل عن 0.003% بالوزن. كما سبق توضيحه، يُكوِّن هذا العنصر كبريتيدات عند تلامسه مع المنجنيز أو الكالسيوم لها آثار سيئة على خواص مقاومة التآكل. وتُعد هذه الكبريتيدات شوائب.

يمكن إضافة المنجنيز بنسبة نهائية لا تتجاوز 0.1% لتعديل طبيعة الأكسيد والكبريتيد.

يفضل أن يقل معدل السلينيوم عن 0.005% بالوزن لما له من آثار سيئة على مقاومة التآكل. يتم إدخال هذا العنصر نمطيًا في الفئة كشوائب ناتجة عن الأشكال المصبوبة من الفريت والمنجنيز.

يقل معدل الفوسفور عن 0.040% بالوزن، ويعد من الشوائب.

تتكون النسبة المتبقية من التركيبة من الحديد والشوائب. بالإضافة إلى المركبات السابق ذكرها، يمكن استخدام الزيركونيوم أو القصدير أو الزرنيخ أو النحاس أو الرصاص أو البزموت. قد يوجد القصدير بنسبة تقل عن 0.100% بالوزن، ويفضل أن تقل عن 0.030% بالوزن لتجنب المشكلات المتعلقة باللحام. قد يوجد الزرنيخ بنسبة تقل عن 0.030% بالوزن، ويفضل أن تقل عن 0.020% بالوزن. قد يوجد الرصاص بنسبة تقل عن 0.002% بالوزن، ويفضل أن تقل عن 0.0010% بالوزن. قد يوجد البزموت بنسبة تقل عن 0.0002% بالوزن، ويفضل أن تقل عن 0.00005% بالوزن. قد يوجد الزيركونيوم بنسبة لا تتجاوز 0.02%.

بالإضافة إلى ذلك، لاحظ المخترعون الحاليّون أنه عند استخدام الكروم والموليبدين والنيتروجين والنيكل والمنجنيز بنسب تحقق المعادلة التالية، فإن الفئات المذكورة تُظهر مقاومة جيدة للتآكل الموضعي، أي تكوُّن الشقوق أو النقر:

$$IRCL = \%Cr + 3.3 \times \%Mo + 16 \times \%N + 2.6 \times \%Ni - 0.7 \times \%Mn \geq 30.5$$

تتكون البنية المجهرية الملدنة للفولاذ الذي يتناوله الاختراع من أوستنيت وفريت، على وجه مفضل، بعد ساعة من المعالجة عند 1000° م، بنسبة تتراوح من 35% إلى 65% بالحجم، ويفضل أن تتراوح من 35% إلى 55% من حجم الفريت.

وجد المخترعون الحاليّون أن المعادلة التالية تحدد معدل الفيريت عند 1100° م:

$$IF = 6 \times (\%Cr + 1.32 \times \%Mo + 1.27 \times \%Si) - 10 \times (\%Ni + 24 \times \%C + 16.15 \times \%N + 0.5 \times \%Cu + 0.4 \times \%Mn) - 6.17$$

هكذا، للحصول على نسبة فريت تتراوح من 35% إلى 65% عند 1100° م، ينبغي أن يتراوح مؤشر IF من 40 إلى 70.

لا تتضمن البنية المجهرية الملدنة أطوارًا إضافية قد تكون ذات تأثير سلبي، لما لها من خواص ميكانيكية على وجه التحديد، كطور سيجما وغيره من الأطوار السبيكية. نظرًا لأنه ملفوف على البارد، يمكن تحويل جزء من الأوستنيت في المارتنزيت، بناء على درجة حرارة التشويه الفعلية وقدر التشويه على البارد المستخدم.

كقاعدة عامة، يمكن تصنيع الفولاذ الذي يتناوله الاختراع في شكل ألواح ملفوفة على الساخن، تعرف كذلك بألواح كواترو، وكذلك في شكل شرائح ملفوفة على الساخن، من صفائح أو

أشكال مصبوبة، وكذلك في شكل شرائح ملفوفة على البارد من شرائح ملفوفة على الساخن. قد يكون الفولاذ كذلك ملفوفًا على الساخن في شكل قضبان، ماكينة شبكة سلكية، أو في مقاطع، وقد يكون مُشكلاً بالطرق. يمكن معالجة هذه المنتجات بالحرارة بعد ذلك بطريقة التشكيل بالطرق، أو معالجتها على البارد في قضبان أو مقاطع مسحوبة أو أسلاك مسحوبة مسبقًا. يمكن كذلك تكوين الفولاذ الذي يتناوله الاختراع باستخدام طريقة تشكيل القوالب ثم معالجة اختيارية بالحرارة.

للحصول على أفضل أداء ممكن، يفضل استخدام الطريقة وفقًا للاختراع، والتي تتمثل أولاً في توفير صبة أو صفيحة أو كتلة من الفولاذ بتركيبة متوافقة مع الاختراع.

يتم بصورة عامة الحصول على الأشكال المصبوبة أو الصفائح أو الكتل الفولاذية بإذابة المواد الخام في فرن كهربي ثم إعادة إذابة نوع AOD أو VOD تحت التفريغ مع نزع الكربون. يمكن بعد ذلك صب الفئة في أشكال مصبوبة أو صفائح أو كتل فولاذية بالصب المستمر في قالب عديم القاع. يمكن كذلك صب الفئة مباشرة في شكل صفائح رقيقة، خاصة بالصب المستمر بين أسطوانات دوارة تدور في اتجاه عكسي.

بعد تصنيع الصبة أو الصفيحة أو الكتلة الفولاذية، يمكن إجراء عملية تسخين لاحقة للوصول إلى درجة حرارة تتراوح من 1150° م إلى 1280° م، ولكن من الممكن العمل على الصفيحة مباشرة بعد عملية الصب المستمرة اعتمادًا على حرارة عملية الصب.

في حالة تصنيع الألواح، يتم لف الصفائح أو الأشكال المصبوبة على الساخن للحصول على لوح، يُعرف باسم كواترو، بسمك يتراوح من 5 إلى 100 مم. تتفاوت نسب الاختزال المستخدمة عادة في هذه المرحلة من 3% إلى 30%. يتم بعد ذلك إخضاع هذا اللوح لمعالجة

حرارية لإعادة نواتج الترسيب المتكونة في هذه الخطوة إلى محلول سائل باستخدام عملية تسخين لاحقة عند درجة حرارة تتراوح من 900° م إلى 1100° م، ثم تبريدها.

تتضمن الطريقة وفقًا للاختراع عملية تبريد بإخماد بالهواء تتسم بسهولة التنفيذ مقارنة بطريقة التبريد التقليدية المستخدمة لهذا النوع من الفئة تمثل طريقة تبريد أسرع من استخدام الماء. رغم ذلك، من الممكن التبريد بالماء حين الرغبة.

يمكن بصورة أساسية تنفيذ عملية التبريد بالهواء البطيئة هذه، نتيجة لمعدلات النيكل والموليبدين المحدودة في التركيبة وفقًا للاختراع، التي لا تخضع لترسب الأطوار السبيكية، التي تُعد أطوار ذات تأثير سلبي بفعل خواص استخدامها. ينبغي إجراء عملية التبريد هذه نموذجيًا بمعدل تبريد يتراوح من 0.1 إلى 2.7° م/ثانية.

بعد اللف على الساخن، يمكن الحصول على لوح كواترو كلوح مسطح في شكله النهائي، وقطعه وتنظيفه بمغطس حامضي إذا كان مطلوب تسليمه بهذا الشكل.

يمكن كذلك لف الفولاذ على طاحونة مسننة بقيم سمك مختلفة تتراوح من 3 إلى 10 مم.

في حالة تصنيع منتجات طويلة من أشكال مصبوبة أو كتل فولاذية، يمكن لف الفولاذ على الساخن عند درجة حرارة تبلغ درجة واحدة على طاحونة لف متعددة الحوامل ذات اسطوانات مضلعة عند درجة حرارة تتراوح من 1150° م إلى 1280° م للحصول على قضيب أو حزمة ملفوفة أو في ماكينة. يفضل أن تزيد نسبة المساحة المقطعية العرضية بين الكتلة الفولاذية الأولية والمنتج النهائي عن 3 لضمان سلامة المنتج الملفوف.

بعد تصنيعه وخروجه من طاحونة اللف، يتم تبريد القضيب بنشره في الهواء الطلق.

بعد تصنيع سلك ملفوف بقطر يزيد عن 13 مم، يمكن تبريده بعد ذلك بعملية إخماد في شكل ملف في صهريج مياه بعد الخروج من طاحونة اللف0.

بعد تصنيع سلك بقطر يزيد عن أو يساوي 13 مم ونقله خلال فرن تلدين محلول في درجة حرارة تتراوح من 850ْ م إلى 1100ْ م يمكن تبريده بعملية تقسية بالماء في ملفات توجد على ناقلة على بُعد يتراوح من 2 إلى 5 من بعضها البعض.

يمكن كذلك إجراء معالجة حرارية تالية اختياريًا في فرن عند درجة حرارة تتراوح بين 900ْ م و1100ْ م على هذه القضبان أو الملفات الملفوفة على الساخن بالفعل عند الرغبة في إكمال إعادة بلورة البنية، مما يقلل من خواص السحب الميكانيكية.

بعد تبريد هذه القضبان أو الملفات، يمكن إجراء عمليات معالجة مختلفة بالتشكيل على الساخن أو البارد بعد ذلك بناء على الاستخدام النهائي للمنتج. لذلك، يمكن سحب القضبان على البارد أو سحب الأسلاك مسبقًا بعد التبريد.

يمكن إجراء عملية تشكيل على البارد على قضبان ملفوفة على الساخن، أو تصنيع بعض الأجزاء بعد قطع القضبان إلى كتل وبعد تشكيلها بالطرق.

تم إجراء بعض التجارب لتوضيح الاختراع يأتي وصفها فيما يلي بالإشارة إلى الأشكال من (1) إلى (5).

وصف الأشكال والرسومات:

يمثل شكل (1) العلاقة المتبادلة بين الفريت (%) بعد معالجته بالحرارة عند 1100ْ م ومؤشر IF للمنتجات الخام

يمثل شكل (2) فرق انحراف القطر النسبي Ø بناء على معدل الإجهاد.

يمثل شكل (3) قيم جهد التنقر E1 وE2 المحددة على قضبان مشكلة بالطرق بناء على مؤشر IRCL.

يمثل شكل (4) معدل التآكل العام (V) المحدد على قضبان مشكلة بالطرق على مؤشر IRCL.

يمثل شكل (5) درجات الحرارة الحرجة CCT وCPT المحددة على قضبان مشكلة بالطرق بناء على مؤشر IRCL.

وسائل تنفيذ الاختراع

الأمثلة

تمت صنع أشكال مصبوبة معملية بحجم 25 كجم بعملية إذابة بحث المواد الخام وسبائك الفريت النقية تحت التفريغ، ثم إدخال النيتروجين بإضافة سبائك فريت منترد تحت ضغط نيتروجين جزئي وصبها في قوالب معدنية تحت ضغط خارجي يبلغ 0.8 بار للنيتروجين. يتوافق اختبارا 14441 و14604 فقط مع الاختراع.

تم إجراء صب صناعي لـ 150 طن، وفقًا للاختراع، برقم مرجعي 8768. تم تطوير هذه الفئة بعملية إذابة في فرن كهربي، ثم تنقيتها تحت التفريغ بنزع الكربون للوصول إلى المستوى المستهدف من الكربون. تم صب الفئة بعد ذلك بصورة مستمرة في صفائح في مقاطع بطول 220 × 1700 مم، ثم لفها على الساخن بعد إجراء معالجة حرارية لاحقة لها عند 1200°م على ألواح كواترو بسمك 7 و12 و20 مم. تم إخضاع الألواح الناتجة بهذه الطريقة بعد ذلك لمعالجة حرارية عند درجة حرارة تبلغ 1000° تقريبًا للحصول على محلول من جميع نواتج الترسيب الموجودة في هذا الطور. بعد معالجتها بالحرارة، تم تبريد الألواح ثم تشكيلها في ألواح مستوية وتقطيعها وتنظيفها بمغطس حامضي.

يوضح جدول (1) نسب التركيبات بالوزن من الفئات المختلفة التي تم الحصول عليها في معمل أو منشأة صناعية، وكذلك تركيبات من منتجات مختلفة أو شبه منتجات صناعية مصنوعة في أفران كهربية، ويتضمن ذلك التنقية إلى AOD والصب في أشكال مصبوبة أو بصورة مستمرة، المذكورين للمقارنة.

جدول (1)

رقم الصب	14441	14604	8768	14382	14383	14439	14426	14422	14425	14424	14660
المنتج	25 كجم	25 كجم	150 طن	25 كجم	25 كجم	25 كجم	25 كجم	25 كجم	25 كجم	25 كجم	25 كجم
Al	0.014	0.012	0.0042	0.010	0.015	0.0.14	0.002>	0.002>			0.024
C	0.016	0.028	0.020	0.020	0.020	0.017	0.021	0.022	0.019	0.020	0.024
Cr	23.07	22.80	22.83	23.03	23.01	23.05	26.67	26.56	26.68	26.61	22.79
Cu	0.301	0.300	0.15	0.304	0.297	0.299	0.279	0.280	0.280	0.208	0.284
Mn	1.282	1.284	1.25	1.288	1.277	1.309	0.724	0.706	0.723	0.705	4.780
Mo	0.249	0.249	0.35	0.251	0.250	0.251	1.322	1.337	1.327	1.328	0.296
N	0.212	0.239	0.21	0.110	0.110	0.290	0.119	0.117	0.300	0.237	0.199
Ni	2.539	1.692	2.50	4.249	1.552	1.485	4.532	1.419	1.541	2.549	2.470
O	0.0049	0.0038	0.0042	0.0031	0.0039	0.0052	0.0316	0.0284	0.0205	0.0221	0.0033
P	0.023	0.023	0.024	0.024	0.024	0.022	0.025	0.022	0.025	0.022	0.025
S	0.0009	0.0010	0.0005	0.0008	0.0008	0.0009	0.0209	0.0203	0.0210	0.0203	0.0014
Si	0.430	0.358	0.44	0.399	0.455	0.403	0.424	0.391	0.407	0.408	0.494
V	0.121	0.061	0.064	0.123	0.122	0.120	0.106	0.102	0.109	0.107	0.013
W	0.010>	0.010>	0.019	0.010>	0.010>	0.010>	0.010>	0.010>	0.010>	0.010>	0.010>
Ti	0.0048	0.0017	0.007	0.0027	0.0039	0.0027	0.0041	0.0059	0.0047	0.0050	0.0011
Zr	0.0048	0.0052	0.0042	0.0049	0.0055	0.0064	0.0055	0.0060	0.0058	0.0072	0.0083
Co	0.002>	0.002>	0.041	0.002>	0.002>	0.002>	0.002>	0.002>	0.002>	0.002>	0.002>
Ca	0.0005>	0.0005>	0.0003	0.0005>	0.0005>	0.005>	0.0005>	0.005>	0.0005>	0.0005>	0.0002>

0.002>	0.002>	0.002>	0.002>	0.002>	0.002>	0.002>	0.002>	0.0009	0.002>	0.002>	**Nb**
0.002>	0.002>	0.002>	0.002>	0.002>	0.002>	0.002>	0.002>	0.002>	0.002>	0.002>	**Se**
0.002>	0.002>	0.002>	0.002>	0.002>	0.002>	0.002>	0.002>	0.002>	0.002>	0.002>	**As**
0.0002>	0.0002>	0.0002>	0.0002>	0.0002>	0.0002>	0.0002>	0.0002>	0.0002>	0.0002>	0.0002>	**Ce+ La**
0.0005>	0.0005>	0.0005>	0.0005>	0.0005>	0.0005>	0.0005>	0.0005>	0.0004>	0.0005>	0.0005>	**Mg**
0.0005>	0.0005>	0.0005>	0.0005>	0.0005>	0.0005>	0.0005>	0.0005>	0.0024>	0.0005>	0.0005>	**B**
316L	304L	150091	533054	517077	436002	140301	UNS32304	UNS32101	316L	304L	**رقم الصب**
*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	المنتج

تابع (جدول 1)

150091	533054	517077	436002	140301	UNS32304	UNS32101	316L	304L	304	رقم الفئة
*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	المنتج
0.011	0.029	0.026	0.021	0.015	0.018	0.022	0.018	0.020		**Al**
23.02	22.32	22.14	22.30	23.01	22.9	21.6	16.5	18.4	18.23	**C**
0.083	0.284	0.260	0.303	0.163	0.24	0.31	0.11	0.15		**Cr**
1.584	1.054	1.082	1.097	1.563	1.26	5.2	1.66	1.20	0.79	**Cu**
3.118	0.275	0.285	0.277	2.802	0.24	0.3	2.08	0.16	0.37	**Mn**
0.150	0.106	0.119	0.143	0.164	0.12	0.224	0.067	0.074	0.044	**Mo**
8.672	4.364	3.995	4.022	5.500	4.20	1.5	10.24	10.2	8.96	**N**
					0.0037					**Ni**

0.019	0.023	0.022	0.022	0.028	0.027	0.019	0.020	0.023		**O**
0.0009	0.0006	0.0004	0.0004	0.0006	0.0008	0.0004	0.0011	0.0013		**P**
0.390	0.400	0.464	0.414	0.206	0.40	0.71	0.50	0.37		**S**
0.126	0.058		0.114	0.103						**Si**
0.126	0.058		0.114	0.103						**V**
0.022	0.013		0.017	0.028						**W**
0.0033	0.0030		0.0040	0.0065						**Ti**
0.035	0.056		0.129	0.063						**Co**
										Zr
0.0007	0.0028		0.0026	0.0007						**Ca**
0.0020>	0.0020>	0.0020>	0.0020>	0.0020>						**Nb**
										Se
										Ce+ La
0.0005>	0.0005>	0.0005>	0.0005>	0.0014						**Mg**
0.0005>	0.0022	0.0005>	0.0005>	0.0008						**B**

*: لوح أو كتلة أو قضبان ملفوفة

1- معدلات الفريت

1-1 معدلات الفريت في المنتجات الخام

تم إجراء حمام ملحي على أجزاء يتراوح سطحها من 1 إلى 8 سم^3، تم قطعها في اختبارات صب معملية على منتجات صناعية في حالة صب خام، مع إجراء خطوة تقسية بالماء في نهاية العملية. تم إجراء عمليات معالجة حرارية لمدة 30 دقيقة عند درجات حرارة متفاوتة لتحديد معدل الفريت عند درجة حرارة مرتفعة. يجذب الفريت الكربيدات والنيتريدات مغناطيسيًا، بخلاف الأوستنيت، التي توجد بعد ذلك، حيث تم أخذ عينة بطريقة قياس مغناطيسية التشبع. يعرض جدول (2) وشكل (1) معدلات الفريت المحددة.

بالرجوع إلى شكل (1)، يلاحظ وجود علاقة متبادلة جيدة بين مؤشر IF ومعدلات الفريت المقاسة على معدن خسيس بعد إجراء عمليات معالجة عند 1100ْ م.

كذلك، تعرض الصبة رقم 14441 عند درجة حرارة تقل عن 1300ْ م، وفقًا للاختراع، معدل فريت مناسب للتحويل إلى بنية مزدوجة. بالإضافة إلى ذلك، فإنها تعرض بعد المعالجة الحرارية التي تتراوح من 950ْ م إلى 1100ْ م معدل فريت معد لمقاومة التآكل تحت الإجهاد.

جدول (2)

150091	533054	517077	436002	140301	14424	14425	14422	14426	14441	14383	14382	رقم الصبة
CCB	CCB	CCB	CCB	CCB	صبة	صبة	صبة	صبة	صبة	صبة	صبة	المنتج
25.4	50.3	52.6	50.5	55.6								خام
20.5	47.2	51	45		91.9	100	98.7	71.2	54.4	89.5	45.6	+ 900ْ م
25.4	46.1	48.9	42.8		94.6	99.6	98.8	71.1	51.7	87.1	48.7	+ 950ْ م

33.7	48.3	54.6	42.1	50.8	93.4	99.4	99.4	71.8	54.5	90	50.9	+1000ْ م
33.7	48.3	54.6	44.2	54	78.8	99.1	98.6	77.8	53	81	55.7	+ 1050ْ م
36.1	51.3	59.4	47.6	58.6	75.6	87.4	99	82	55.5	84.6	60.8	+1100ْ م
41.1	57.9	66.7	52.7	64.6	78.1	75.6	98.9	88.1	59	88.6	65.2	+1150ْ م
46.7	64.8	75.5	59.3	71.6		78.4	98.8	95.4	64	94.2	76.6	+1200ْ م
55.1	73.2	86	67.4	81.5	86.2	81	99.2	100	67.7	98.1	92.3	+1250ْ م
66.4	85	99	78.3	100	93.5	85.9	98.7	99.4	72.6	97.7	95.2	+1300ْ م

2-1 نسب الفريت على المنتجات النهائية

تم كذلك التحكم في نسبة الفريت بطريقة الشبكة (وفقًا لمعيار ASTM E 562) على قضبان مُشكلة بالطرق بعد إجراء معالجة حرارية عند 1030ْ م وعلى مساحات متأثرة بالحرارة بدرزات لحام مرسبة بإلكترود مُغطى بطاقة ثابتة، مما يؤدي إلى معدل تبريد يتراوح من 20ْ م/ثانية إلى 700ْ م. يعرض جدول (3) النتائج (نسب الفريت للمعادن الخسيسة والمساحات المتأثرة بالحرارة). وفقًا للاختراع، يعرض الشكلان المصبوبان رقم 14441 و14604 نسبة فريت في معدن خسيس ومساحة متأثرة بالحرارة، مما يدعم مقاومة التآكل الموضعي والتآكل تحت تأثير الإجهاد، وكذلك المرونة (انظر جدول 5).

جدول(3): نسب الفريت

(%) α Z.A.T.	(%)α M.B.	المنتج	الرقم المرجعي
70	48	Barreau forge	14441*

65	54	Barreau forge	14604*
80	49	Barreau forge	14382
88	79	Barreau forge	14383
72	48	Barreau forge	14660
67	45	TÔLe LAC	UNS S32101
75	47	TÔLe LAC	UNS S32104

*: وفقًا للاختراع

LAC: ملفوف على الساخن؛

α M.B.(%): معدل فريت مقاس على معادن خسيسة

α Z.A.T.: معدل فريت مقاس على مساحة متأثرة بالحرارة

2- قابلية الصب

أظهرت الصبة رقم 14439 ثقوبًا فقاعية وبالتالي لم تكن صالحة للاستخدام. لتجنب هذه المشكلة في أثناء الصب في قوالب تحت ضغط الهواء، يكون من الضروري أن تقل نسبة النيتروجين في الصبة عن 0.28% بالوزن.

3- سعة التشغيل على الساخن

تم قياس سعة التشغيل على الساخن بإجراء اختبار للشد عند درجة حرارة مرتفعة على عينات الاختبار، حيث يتم تسخين المقطع الصغير الذي يبلغ قطره 8 مم ويبلغ طوله 5 مم بتأثير الجول لمدة 80 ثانية عند 1280° م، ثم تبريده بمعدل 2° م في الثانية حتى الوصول إلى درجة حرارة الاختبار التي تتراوح من 900° م إلى 1280° م. عند الوصول إلى هذه الحرارة، يتم حث

مقاومة شد سريعة على الفور بمعدل 73 مم/ثانية. يقاس الانخفاض في القطر بعد التشقق عند نقطة التمزق.

يحدد انحراف القطر النسبي (جدول 4)، كما هو محدد فيما يلي، سعة التشغيل على الساخن:

الفرق Ø = 100 × (1- (قطر نهائي/قطر أولي)

جدول (4): انحراف القطر النسبي (اختبار الشد عند درجة حرارة مرتفعة)

درجة حرارة الاختبار (°م)	الفرق Ø (في %)		
	صبة رقم 14382	صبة رقم 14383	صبة رقم 14441*
1280	85	100	96.7
1250		98.3	86.7
1200	75	98.3	76.7
1150	70	95	61.7
1100	63.3	93.3	56.7
1050	51.7	75	44.2
1010	45		
1000		65	40
980			36.7
960		58.3	
950	35.8		
900	35	51.7	36.7

*: وفقًا للاختراع

في جدول (4) وشكل (2)، حيث يتم التعبير عن البيانات في منحنيات، يكون للصبة رقم 14441 وفقًا للاختراع سعة تشغيل على الساخن مماثلة لتلك الناتجة عن الصبة المقارنة رقم 14382.

4- الخواص الميكانيكية

تم تحديد خواص الشد $Re_{0,2}$ وR_m وفقًا لمعيار NFEN 10002-1. تم تحديد المرونة (بالكيلو فولت) عند درجات حرارة مختلفة وفقًا لمعيار NF EN 10045.

جدول (5): خواص ميكانيكية

REF	المنتج	Re 0,2 (ميجا باسكال)	R_m (ميجا باسكال)	كيلو فولت، 20ْ م (جول)	كيلو فولت، -50ْ م (جول)
14441*	قضيب مشكل بالطرق	477	716	334	51
14604*	قضيب مشكل بالطرق	477	691	288	18
14382	قضيب مشكل بالطرق	436	664	339<	339
14383	قضيب مشكل بالطرق	458	604	79	9
14660	قضيب مشكل بالطرق	493	701	293	31

304L	لوح LAC	218	523	312	301
316L	لوح LAC	232	537	307	298
UNS S32101	لوح LAC	466	720	101	60
UNS S32304	لوح LAC	438	663	268	153
8768*	لوح LAC	519	743		

*: وفقًا للاختراع

LAC: ملفوف على الساخن؛

Re 0,2: حد المرونة عند معدل إجهاد يبلغ 0.2%

R_m: مقاومة التمزق

وفقًا للاختراع، توضح نتائج الأشكال المصبوبة المعملية رقم 14441 و14604 والصبة الصناعية رقم 8768 إمكانية الحصول على حد مرونة يزيد عن 450 ميجا باسكال، أي ضعف الحد الذي يتم الحصول عليه لفولاذ الأوستنيت من النوع AISI 304L.

وفقًا للاختراع، تزيد قيم المرونة المحددة عند 20ْ م للأشكال المصبوبة المعملية رقم 14441 و14604 وللصبة التجارية رقم 8768 عن 200 جول، ويتضح أن هذه القيمة مناسبة عند وضع القيمة الحدية لمرونة هذه الفئات في الاعتبار. بالنسبة للصبة رقم 14383، التي لا يتناولها الاختراع، المحتوية على معدل نيتروجين منخفض ومعدل فريت ملدن مرتفع، تكون قيم المرونة عند 20ْ م أقل عند 100 جول. يؤكد ذلك ضرورة إضافة كمية كافية من النيتروجين للحصول على مستوى مقاومة مناسب.

5- مقاومة التآكل

تم إجراء اختبارات مقاومة التآكل على القضبان المشكلة بالطرق من عينات أشكال مصبوبة معملية وعينات اختبار من لوح ملفوف على الساخن من أشكال مصبوبة صناعية.

1-5 مقاومة التآكل الموضعية

يتم تحديد مقاومة التآكل المتسبب في تكوين نقر من خطوط منحنى قيم الكثافة الكامنة وتحديد جهد تكوُّن الشقوق لـ i = 100 ميكرو أمبير/سم^2. تم تقييم هذا العامل المتغير في وسط متعادل (رقم هيدروجيني = 6.4) يحتوي على نسبة مرتفعة من الكلور ($[Cl^-]$ = 30 جم/لتر) عند 50° م (E_1) ومواد ممثلة للمحاليل الملحية الموجودة في وحدات نزع الملح من ماء البحر، وفي وسط حمضي قليلاً (الرقم الهيدروجيني = 5.5) يحتوي على نسبة منخفضة من الكلور ($[Cl^-]$ = 250 جزء في المليون) عند درجة حرارة الغرفة (E_2) ومواد ممثلة لماء الشرب. تم كذلك تحديد درجة الحرارة الحرجة لتكوُّن النقر في وسط كلوريد محتوي على حديد (6% من $FeCl_3$) وفقًا لمعيار ASTM G48-00 وطريقة (ج).

في مجموعة أخرى من الاختبارات، تم تحديد مقاومة التآكل المتسبب في تكوُّن نقر في وسط متعادل ونزع الهواء منها في 0.86 مول / لتر من NaCl، بما يناظر 5% بالوزن من NaCl عند 35° م. يتم إجراء قيمة جهد تآكل دائرة مفتوحة لمدة 900 ثانية. يتم بعد ذلك تتبع منحنى جهدي ديناميكي بمعدل 100 مللي فولت/دقيقة من جهد تآكل الدائرة المفتوحة إلى جهد تكوُّن النقر. يتم تحديد جهد تكوُّن النقر لـ i = 100 ميكرو أمبير/سم^2. في هذه الحالات، تم اختبار عينات وفقًا للاختراع، وكذلك عينات مرجعية للفئة 304L ولفئات الأوستنيت- الفريت المزدوجة من نوع 1.4362 وغيرها.

تمت دراسة مقاومة التآكل المكوِّن للشقوق بقياس درجة الحرارة الحرجة للشقوق في وسط متعادل (الرقم الهيدروجيني = 6.4) يحتوي على نسبة مرتفعة من الكلور ($[Cl^-]$ = 30 جم/لتر). يفي المخطط الموضح للتآكل المتسبب في تكوُّن الشقوق بالتوصيات الموجودة في

معيار ASTM G78-99. تمثل درجة الحرارة الحرجة لتكوُّن الشقوق أدنى درجة حرارة لوحظ عندها تكوُّن شقوق بعمق يزيد عن 25 ميكرو متر.

تظهر القيم التي تم الحصول عليها في جدول (6). تشير المقارنة بين النتائج التي تم الحصول عليها على لوح الفولاذ UNS S32304 والقضيب من الصبة رقم 14382، ولكليهما نفس التركيبة الكيميائية، إلى أن مقاومة التآكل للقضيب تقل عنها للوح الملفوف على الساخن الذي له نفس التركيبة.

وجد المخترعون الحاليون أن مؤشر مقاومة التآكل الموضعي، أي تكوُّن الشقوق أو النُقر، يتم تلخيصه بواسطة IRCL وتحديده بواسطة:

$IRCL = Cr + 3.3 \times Mo + 16 \times N + 2.6 \times Ni - 0.7 \times Mn$ (معدلات Cr وMo وN وMn وNi وMn بالوزن%)

في واقع الأمر، يتم من خلال ذلك تصنيف التركيبات المحتوية على أقل من 6% من النيكل في مقاومة التآكل الموضعية (انظر الأشكال رقم 3 و4 و5).

لا تُظهر الأشكال المصبوبة رقم 14383 و14660، التي لا يتناولها الاختراع، ذات مؤشرات IRCL تساوي 28.7 و29.8 نتائج تآكل جيدة للغاية مقارنة بالفولاذ من نوع AISI 304L. وفقًا للاختراع، لا تُظهر كذلك الأشكال المصبوبة رقم 14604 و14441، بمؤشرات IRCL تبلغ 30.9 و33، نتائج تآكل جيدة مقارنة بالفولاذ من نوع 304L. للحصول على مقاومة تآكل مساوية على الأقل لمقاومة التآكل للفئة AISI 304L، يفضل أن يكون لأنواع الفولاذ المتوافقة مع الاختراع مؤشر IRCL يزيد عن 30.5، أو يزيد عن 32 على نحو مفضل.

2-5 مقاومة التآكل العامة

تم تحديد التآكل العام بعد تقييم معدل التآكل من فقد الكتلة بعد 72 ساعة من الغمر في 2% من محلول حمض الكبريتيك مُسخن عند 40° م.

تُظهر كذلك مقارنة معدلات التآكل للأشكال المصبوبة التجريبية المحتوية على 2.5% من Ni و0.2% من N (14441، وفقًا للاختراع، و14660 التي لا يتناولها الاختراع) التأثير السلبي لمعدل Mn المرتفع لمقاومة التآكل العامة في وسط الكبريتيك.

جدول (6): بيانات مقاومة التآكل الموضعية والعامة

REF	المنتج	IRCL	E_1	E_2	E_3	CPT	CCT	V
			(V/ECS)	(V/ECS)	(V/ECS)	(°م)	(°م)	(مم/سنة)
14441*	قضيب مشكل بالطرق	33	0.165	0.058	0.320	7.5	50	0.73
14604*	قضيب مشكل بالطرق	30.9	0.159	0.802		5	45	1.8
14382	قضيب مشكل بالطرق	35.8	0.302	1.323	0.420	15	60	0.24
14383	قضيب مشكل بالطرق	28.7	0.049	0.595	0.050	صفر	35	4.95
14660	قضيب	29.8	0.094	0.707		7.5	45	1.11

	مشكل بالطرق							
304L	لوح LAC	NA	0.188	0.834	0.210	5	65	
316L	لوح LAC	NA	0.266	0.865		7.5	75	
UNS S32101	لوح LAC	26.4	0.163	0.855		12.5		
UNS S32304	لوح LAC	35.7	0.413	1.330[1]		17.5	95	
517077	قضيب ملفوف	34.6			0.415			
140301	قضيب ملفوف	47.1			1.200[1]			
8768*	لوح LAC	33.1	0.227	1.273[1]				

*: وفقًا للاختراع

[1]: جهد أكسدة المذيب، لم يلاحظ وجود شقوق

LAC: ملفوف على الساخن، NA: غير مقبول

E_1: جهد التنقر في وسط متعادل (الرقم الهيدروجيني = 6.4) يحتوي على نسبة عالية من الكلور (30 جم/لتر من Cl^-) عند 50ْ م.

E_2: جهد التنقر في وسط حمضي قليلاً (الرقم الهيدروجيني = 5.5) يحتوي على نسبة منخفضة من الكلور (250 جزء في المليون من Cl) عند 25ْ م.

E_3: جهد التنقر في وسط متعادل محتوي على كلور (NaCl بنسبة 5%) عند 35ْ م

CPT: درجة الحرارة الحرجة للتنقر في وسط فريت يحتوي على كلور

CCT: درجة الحرارة الحرجة للشقوق في وسط متعادل (الرقم الهيدروجيني = 6.4) يحتوي على نسبة عالية من الكلور (30 جم/لتر من Cl^-)

V: معدل تآكل عام في 2% من حمض الكبريتيك عند 40ْ م

3-5 جهد إعادة كبت الفعالية

صقل عينات فولاذية بورق SiC حتى 1200 تحت الماء ثم إنضاجها لمدة 24 ساعة في درجة الحرارة المحيطة.

يتم إجراء اختبار القطبية الحلقية في وسط الكلوريد بقياس جهد تآكل الدائرة المفتوحة أولاً لـ 15 دقيقة، ثم قياس القطبية الحلقية الجهدية الديناميكية عند 100 مللي فولت/دقيقة من جهد تآكل الدائرة المفتوحة إلى المستوى الذي تصل عنده شدة التيار بالأمبير إلى 300 ميكرو أمبير/سم^2، والعودة إلى الجهد الذي يتوقف عنده التيار.

يتم بهذه الطريقة تحديد قيم جهد التنقر (Vpit) وجهود إعادة كبت الفعالية (Vrepassivation) للنُقر المتكونة سابقًا. تظهر هذه النتائج في جدول (7).

جدول (7): إعادة كبت الفعالية بناء على معدل النيكل

الصبة	%Ni	Vpit – Vrepassivation (مللي فولت/ECS)
14382	4.5	460
14441	2.5	361
14383	1.5	227

وفقًا لاختبارات جهود إعادة كبت الفعالية في وسط معتمد على NaCl، كلما زاد معدل النيكل زاد الانحراف بين جهد التنقر وجهد إعادة كبت الفعالية، مما يوضح أن النيكل غير مفيد في إعادة كبت الفعالية لفئة التنقر السابقة وفقًا للاختراع.

عناصر الحماية

1- فولاذ مزدوج غير قابل للصدأ يحتوي على المواد التالية بالنسب الموضحة بالوزن:

%0.05 ≤ C

%25 ≥ Cr ≥ %21

%2.95 ≥ N ≥ %1

%0.28 ≥ N ≥ %0.16

%2 ≥ Mn

%0.50 ≥ W/2 + Mo

%0.45 ≥ Mo

%0.15 ≥ W

%1.4 ≥ Si

%0.05 ≥ Al

%0.50 ≥ Cu ≥ %0.11

$S \leq 0.010\%$

$P \leq 0.040\%$

$Co \leq 0.5\%$

$REM \leq 0.1\%$

$V \leq 0.5\%$

$Ti \leq 0.1\%$

$Nb \leq 0.3\%$

$Mg \leq 0.1\%$

$0.0002\% \leq Ca \leq 0.03\%$

تكون النسبة المتبقية عبارة عن حديد وجسيمات شوائب ناتجة عن عملية التصنيع، وتتكون البنية المجهرية مكونة من أوستنيت وما يتراوح من 35% إلى 65% بالحجم من الفريت. تحتوي التركيبة كذلك على الآتي:

$40 \leq Cu \leq 70$

مع $IF = 6 \times (\%Cr + 1.32 \times \%Mo + 1.27 \times \%Si) - 10 \times (\%Ni + 24 \times \%C + 16.15 \times \%N + 0.5 \times \%Cu + 0.4 \times \%Mn) - 6.17$ و

$IRCL \geq 30.5$

مع $IRCL = \%Cr + 3.3 \times \%Mo + 16 \times \%N - 2.6 \times \%Ni - 0.7 \times \%Mn$؛

2- فولاذ مزدوج وفقاً لعنصر الحماية 1، حيث أن الملمح الاضافي هو :

$B \leq 0.0005\%$

3- فولاذ مزدوج غير قابل للصدأ وفقًا لعنصر الحماية (1)، به سمة إضافية هي:

$IRCL \geq 32$

4- فولاذ مزدوج غير قابل للصدأ وفقًا لعنصر الحماية (1) أو (3)، حيث تتراوح نسبة الفريت من 35% إلى 55% بالحجم.

5- فولاذ مزدوج غير قابل للصدأ وفقًا لأي عنصر حماية من (1) إلى (4)، به سمة إضافية هي:

$$60 \geq IF \geq 40$$

6- فولاذ مزدوج غير قابل للصدأ وفقًا لأي عنصر حماية من (1) إلى (4)، حيث تتراوح نسبة الكروم من 22% إلى 24% بالوزن؛

7- فولاذ مزدوج غير قابل للصدأ وفقًا لأي عنصر حماية من (1) إلى (6)، حيث تقل نسبة المنجنيز عن 1.5% بالوزن؛

8- فولاذ مزدوج غير قابل للصدأ وفقًا لأي عنصر حماية من (1) إلى (7)، حيث تقل نسبة الكالسيوم عن 0.03% بالوزن؛

9- فولاذ مزدوج غير قابل للصدأ وفقًا لأي عنصر حماية من (1) إلى (8)، حيث تزيد نسبة الموليبدين عن 0.1% بالوزن؛

10- طريقة لتصنيع لوح فولاذي أو شريحة أو ملف ملفوف على الساخن باستخدام فولاذ مزدوج غير قابل للصدأ وفقًا لأي عنصر حماية من (1) إلى (9) حيث:

يتم تضمين صبة أو لوح مع فولاذ له تركيبة وفقًا لأي عنصر حماية من (1) إلى (10)؛

يتم لف هذه الصبة أو اللوح على الساخن عند درجة حرارة تتراوح من 1150ْ م إلى

1280° م للحصول على لوح فولاذي أو شريحة أو ملف.

11- طريقة تصنيع لوح فولاذي ملفوف على الساخن وفقًا لعنصر الحماية (10)، حيث:
- يتم لف هذه الصبة أو اللوح المذكور على الساخن عند درجة حرارة تتراوح من 1150° م إلى 1280° م للحصول على لوح فولاذي، مثل كواترو، ثم
- إجراء معالجة حرارية عند درجة حرارة تتراوح من 900° م إلى 1100° م، و
- تبريد اللوح المذكور بعد ذلك بعملية إخماد بالهواء.

12- لوح كواترو فولاذي ملفوف على الساخن يمكن الحصول عليه باستخدام طريقة وفقًا لعنصر الحماية (11) بسمك يتراوح من 5 إلى 100 مم.

13- استخدام لوح الكواترو الفولاذي، وفقًا لعنصر الحماية (12)، أو ملف ملفوف على الساخن يتم الحصول عليه بالطريقة وفقًا لعنصر الحماية (10) حيث تكون عملية تصنيع المقاطع التركيبية مصممة بحيث تُستخدم في منشآت تصنيع المادة أو الطاقة.

14- تطبيق وفقًا لعنصر الحماية (13)، حيث تعمل منشآت تصنيع المادة أو الطاقة هذه عند درجة حرارة تتراوح من -100° م إلى +300° م، ويفضل أن تتراوح من -50° م إلى +300° م.

15- يتم استخدام شريحة ملفوفة على البارد يمكن الحصول عليها بعد عملية لف على البارد على ملف ملفوف على الساخن باستخدام الطريقة وفقًا لعنصر الحماية (10).

16- طريقة لتصنيع قضبان ملفوف على الساخن أو ملف باستخدام فولاذ مزدوج غير قابل للصدأ وفقًا لأي من عنصر الحماية (1) إلى (9)، حيث:
- يتم تضمين صبة أو كتلة فولاذية من عملية صب مستمر مع فولاذ له تركيبة وفقًا لأي عنصر حماية من (1) إلى (9)،
- يتم لف هذه الصبة أو الكتلة المذكورة على الساخن عند درجة حرارة تتراوح من 1150ْ م إلى 1280ْ م للحصول على قضيب مبرد بالهواء أو حزمة مبردة بالماء؛ ثم يتم إجراء التالي اختياريًا:

- إجراء معالجة بالحرارة عند درجة حرارة تتراوح من 900ْ م إلى 1100ْ م، و
- تبريد القضيب أو الحزمة المذكورة بعد ذلك بعملية إخماد.

17- قضيب ملفوف على الساخن يمكن الحصول عليه بعد استخدام الطريقة وفقًا لعنصر الحماية (15)، بقطر يتراوح من 18 مم إلى 250 مم، وسلك ملفوف على الساخن، يمكن الحصول عليه بعد استخدام الطريقة وفقًا لعنصر الحماية (16)، بقطر يتراوح من 4 إلى 30 مم.

18- طريقة تصنيع وفقًا لعنصر الحماية (16)، حيث يتم إجراء سحب على البارد على القضيب الفولاذي المذكور، أو سحب السلك المذكور مسبقًا، في نهاية عملية التبريد.

19- قضيب فولاذي مسحوب على البارد بقطر يتراوح من 4 مم إلى 60 مم يمكن الحصول عليه بعد استخدام الطريقة وفقًا لعنصر الحماية (18)، وسلك مسحوب

مسبقًا بقطر يتراوح من 0.010 مم إلى 20 مم يمكن الحصول عليه بعد استخدام الطريقة وفقًا لعنصر الحماية (18).

20- تطبيقات القضيب وفقًا لعنصر الحماية (16) أو (18) متعلقة بتصنيع أجزاء ميكانيكية، كمضخات ومحور صمام ومحور محرك وتجميعات إقران تعمل في بيئات عدوانية

21- تطبيقات السلك وفقًا لعنصر الحماية (17) أو (19) متعلقة بتصنيع تجميعات مُشكلة على البارد مستخدمة في الصناعات الغذائية أو في استخراج النفط والمواد المعدنية أو تصنيع الألياف والشبكات المنسوجة المستخدمة في نظم ترشيح المواد الكيميائية أو المواد المعدنية أو المنتجات الغذائية.

22- طريقة لتصنيع مقطع تركيبي ملحوم، حيث يتم تطبيق عملية تشكيل على البارد على قضيب ملفوف على الساخن، يتم الحصول عليه بعد استخدام الطريقة وفقًا لعنصر الحماية (16).

23- مقطع تركيبي فولاذي يمكن الحصول عليه بعد استخدام الطريقة وفقًا لعنصر الحماية (22).

24- طريقة لتصنيع جزء فولاذي مُشكل بالطرق، حيث يتم قطع قضيب ملفوف على الساخن، يتم الحصول عليه بعد استخدام الطريقة وفقًا لعنصر الحماية (16)، إلى كتل، ثم تطبيق عملية تشكيل بالطرق على الكتل المذكورة عند درجة حرارة تتراوح من 1100ْ م إلى 1280ْ م.

25- جزء فولاذي مُشكل بالطرق يمكن الحصول عليه بعد استخدام الطريقة وفقًا لعنصر الحماية (24).

26- تطبيق عناصر فولاذية مُشكلة بالطرق وفقًا لعنصر الحماية (25)، ومستخدمة في تصنيع شفرات أو وصلات.

27- جزء مصبوب يمكن الحصول عليه بعد صب فولاذ مزدوج غير قابل للصدأ وفقًا لأي من عناصر الحماية من (1) إلى (9).